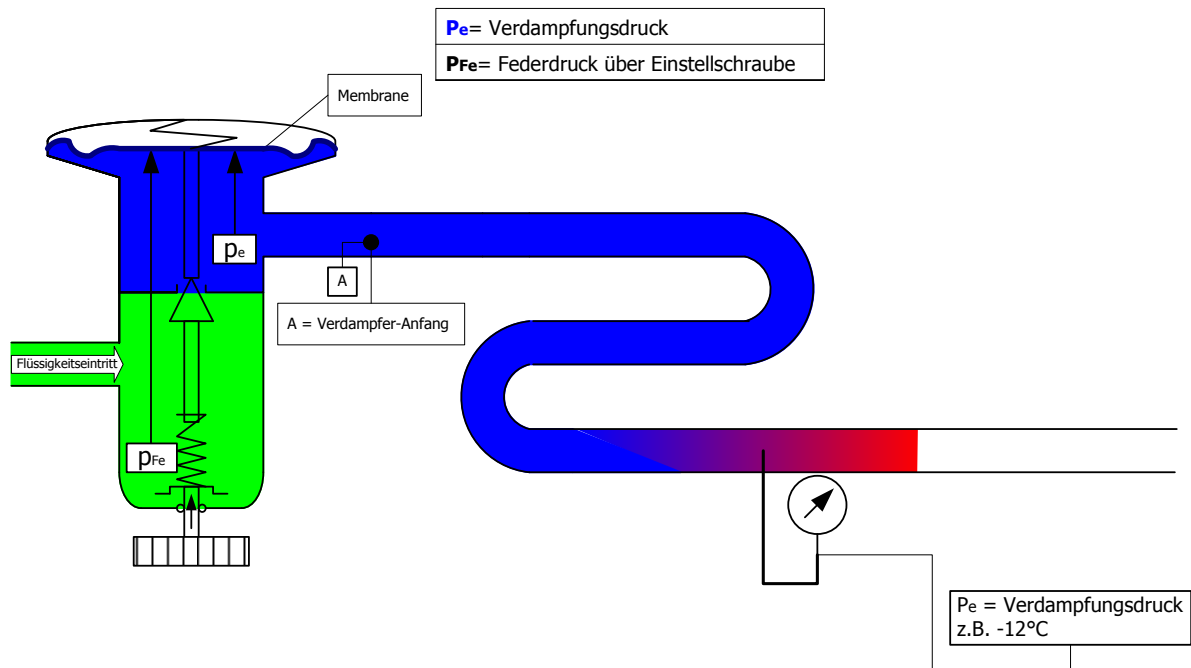


Automatisches Expansionsventil (AEV)



Beschreibung:

Das automatische Expansionsventil ist ein **Konstantdruckregler**. Es wird ausschließlich über den Verdampfungsdruck gesteuert. Der gewünschte Verdampfungsdruck wird über eine Einstellschraube vorgewählt. Es ist genau wie die TEV's ein Massenstromregler (Primärregler).

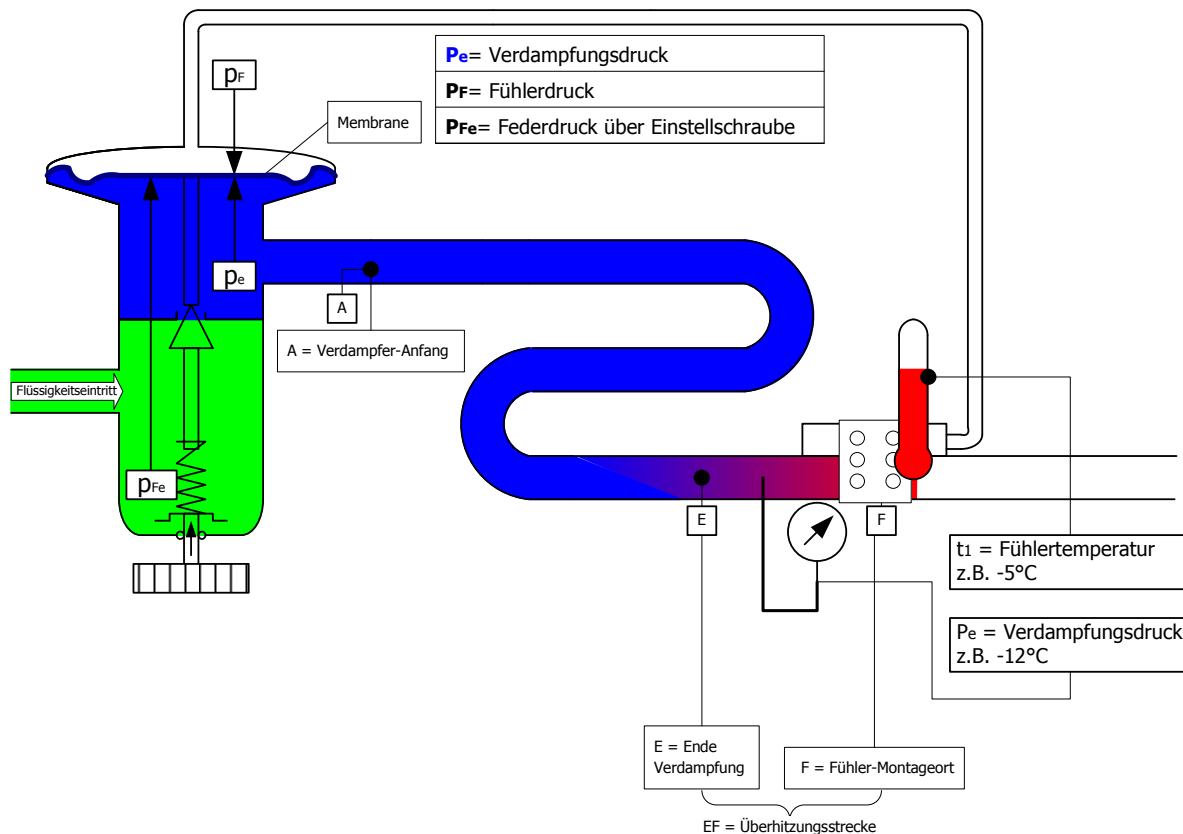
Es wird sinnvollerweise nur in Anlagen mit einem Verdampfer und **konstanter Kühllast** eingesetzt. Zur Steuerung muß zwingend ein Thermostat eingesetzt werden, dessen Fühler direkt am Verdampfer installiert wird. Eine pressostatische Steuerung ist nicht möglich, da hier die Gefahr besteht, daß der Verdichter "naß" läuft. Der **Verdampferthermostat** sollte ca. 5 K über Verdampfungstemperatur eingestellt werden.

Aufgrund des steigenden Verdampferdruckes bei Stillstand des Verdichters, ist sichergestellt, daß das Ventil schließt und kein Kältemittel mehr in den Verdampfer nachströmt (Schutz des Verdichters vor Flüssigkeitsschlägen).

Als Variante gibt es automatische Expansionsventile mit einem Bypass. Hierbei werden die Vorteile der Kapillarrohreinstritzung und die der automatischen Expansionsventile kombiniert. Durch den Bypass findet bei Stillstand des Verdichters ein Druckausgleich zwischen Hoch- und Niederdruckseite statt und der Verdichterantrieb kann dadurch kleiner dimensioniert werden (Anlaufmoment). Dabei entfällt die aufwendige Dimensionierung eines Kapillarrohres.

Bei der Verwendung eines solchen Ventils ist darauf zu achten, daß die Einspritzung von unten nach oben geschieht, **die Kältemittelmenge exakt stimmt**, der Verdampfer die komplette Kältemittelfüllung aufnehmen kann und kein Sammler nach dem Verflüssiger montiert ist.

Thermostatisches Expansionsventil mit innerem Druckausgleich (TEV mit i. D.)



Beschreibung:

Das thermostatische Expansionsventil mit innerem Druckausgleich ist ein **Überhitzungsregler**. Es wird über die vom Fühler am Austritt des Verdampfers gemessene Temperatur und den Verdampfungsdruck am Verdampferanfang gesteuert. Die gewünschte Überhitzung wird über die Einstellschraube vorgewählt bzw. angepaßt. Es ist ein Massenstromregler (Primärregler).

Es kann in Anlagen mit einem oder mehreren Verdampfern und **schwankender Kühllast** eingesetzt werden. Zur Steuerung kann ein Thermostat eingesetzt werden. Eine pressostatische Steuerung ist ebenfalls möglich.

Aufgrund des steigenden Verdampferdruckes bei Stillstand des Verdichters, ist sichergestellt, daß das Ventil schließt und kein Kältemittel mehr in den Verdampfer nachströmt (Schutz des Verdichters vor Flüssigkeitsschlägen). Dies ist dadurch möglich, daß der Verdampfungsdruck p_e im Stillstand als schließende Kraft unter der Membrane zur Steuerung der Ventilschraube wirkt.

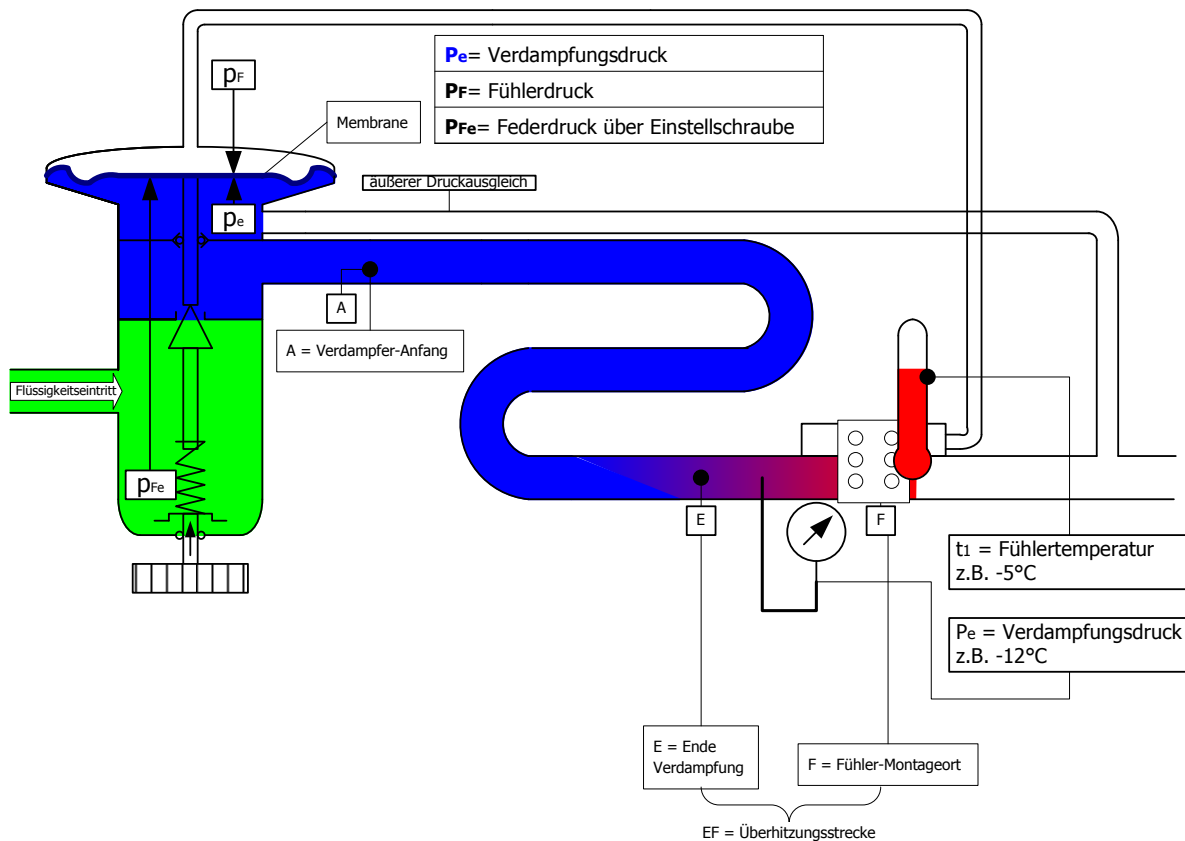
Die Überhitzung sollte zwischen 5 K und 10 K liegen. Als Einflußgrößen wirken die Federkraft der Überhitzungseinstellschraube (Feder), der Verdampfungsdruck p_e und der Fühlerdruck (Temperatur an Meßstelle Verdampferausgang) auf die Ventilschraube. Steigt die Überhitzung über den eingestellten Wert, öffnet der Federkraft und dem Verdampfungsdruck entgegen die Fühlerkraft durch Druckanstieg im Fühler (Erwärmung des Fühlers).

Man unterteilt die Überhitzung in drei Bereiche: $t_{üs}$ =statische Überhitzung (Federkraft über Einstellschraube), $t_{üö}$ = Öffnungsüberhitzung (Höhe der Fühlererwärmung) und die $t_{üa}$ = Arbeitsüberhitzung (Gesamtüberhitzung) als Summe der statischen- und der Öffnungsüberhitzung.

Diese Ventile werden überwiegend bei Anlagen mit kleineren Leistungen und Verdampfern mit geringem Druckverlust eingesetzt, da der Druck am Verdampferanfang als Regelgröße verwendet wird. Druckverluste im Verdampfer werden daher nicht ausreichend berücksichtigt.

Wichtig ist die Wahl der Fühlerfüllung (Adsorptions- Gas-, Gas-Ballast- oder Flüssigfüllung) und die Wahl des richtigen Kältemittel und des Düsenansatzes. Außerdem muß der Fühler absolut fest und mit möglichst guter Wärmeübertragung zum Rohr installiert werden (Isolierung).

Thermostatisches Expansionsventil mit äußerem Druckausgleich (TEV mit ä. D.)



Beschreibung:

Das thermostatische Expansionsventil mit äußerem Druckausgleich ist ein **Überhitzungsregler**. Es wird über die vom Fühler am Austritt des Verdampfers gemessene Temperatur und den Verdampfungsdruck am **Verdampfende** gesteuert. Die gewünschte Überhitzung wird über die Einstellschraube vorgewählt bzw. angepasst. Es ist ein Massenstromregler (Primärregler). Es kann in Anlagen mit einem oder mehreren Verdampfern und **schwankender Kühllast** eingesetzt werden. Zur Steuerung kann ein Thermostat eingesetzt werden. Eine pressostatische Steuerung ist ebenfalls möglich.

Aufgrund des steigenden Verdampferdruckes bei Stillstand des Verdichters, ist sichergestellt, daß das Ventil schließt und kein Kältemittel mehr in den Verdampfer nachströmt (Schutz des Verdichters vor Flüssigkeitsschlägen). Dies ist dadurch möglich, daß der Verdampfungsdruck p_e im Stillstand als schließende Kraft unter der Membrane zur Steuerung der Ventilnadel wirkt.

Die Überhitzung sollte zwischen 5 K und 10 K liegen. Als Einflußgrößen wirken die Federkraft der Überhitzungseinstellschraube (Feder), der Verdampfungsdruck p_e und der Fühlerdruck (Temperatur an Meßstelle Verdampferausgang) auf die Ventilnadel. Steigt die Überhitzung über den eingestellten Wert, öffnet der Federkraft und dem Verdampfungsdruck entgegen die Fühlerkraft durch Druckanstieg im Fühler (Erwärmung des Fühlers).

Man unterteilt die Überhitzung in drei Bereiche: $t_{üs}$ =statische Überhitzung (Federkraft über Einstellschraube), $t_{üö}$ = Öffnungsüberhitzung (Höhe der Fühlererwärmung) und die $t_{üa}$ = Arbeitsüberhitzung (Gesamtüberhitzung) als Summe der statischen- und der Öffnungsüberhitzung.

Diese Ventile werden überwiegend bei Anlagen mit größeren Leistungen und Verdampfern mit großem Druckverlust und im Tiefkühlbereich eingesetzt, da der Druck am Verdampfende als Regelgröße verwendet wird. Druckverluste im Verdampfer werden daher zur Regelung mitberücksichtigt.

Wichtig ist die Wahl der Fühlerfüllung (Adsorptions- Gas-, Gas-Ballast- oder Flüssigfüllung), die Wahl des richtigen Kältemittel und des Düsenesatzes. Außerdem muß der Fühler absolut fest und mit möglichst guter Wärmeübertragung zum Rohr installiert werden (Isolierung).

Druckausgleich an Expansionsventilen

Innerer Druckausgleich

Bei Expansionsventilen mit **innerem Druckausgleich** wird der am **Verdampferanfang** herrschende Druck als Regelgröße verwendet.

Dadurch kann ein im Verdampfer entstehender **Druckverlust**, z.B. durch sehr **lange Rohrstränge** oder **kleine Rohrdurchmesser** zur Regelung des Ventils nicht berücksichtigt werden.

Dementsprechend kann das Expansionsventil Durchflußwiderstände im Verdampfer nicht kompensieren.

Ein zu großer Druckabfall im Verdampfer wirkt sich negativ auf die statische Überhitzung aus. Die **statische Überhitzung** und die Arbeitsüberhitzung werden **größer**. Dadurch wird die Verdampferfläche nicht mehr vollständig zum Verdampfen des Kältemittels sondern ein großer Teil bereits zur Überhitzung verwendet.

Eine Verringerung der statischen Überhitzung (Federkraft über Einstellschraube verringern) läßt sich dieser Effekt nur im geringen Maße kompensieren, da die Schließkraft der Feder ein sicheres Schließen des Expansionsventils im Stillstand gewährleisten muß.

Wird der Druckverlust des Verdampfers zu groß (Tabellenwerte) sollten unbedingt Ventile mit äußerem Druckausgleich verwendet werden, um ein sicheres Arbeiten des Ventils zu gewährleisten.

Äußerer Druckausgleich

Bei Expansionsventilen mit **äußerem Druckausgleich** wird der am **Verdampferende** herrschende Druck als Regelgröße verwendet.

Dadurch wird ein im Verdampfer entstehender Druckverlust, z.B. durch sehr lange Rohrstränge oder kleine Rohrdurchmesser zur Regelung des Ventils berücksichtigt und das Expansionsventil kann den **Durchflußwiderstand** im Verdampfer **kompensieren**.

Die negativen Einflüsse des Druckverlustes auf des Regelverhalten werden dadurch verhindert. Eine **Druckverlustminderung** oder Aufhebung ist durch den Einsatz eines solchen Ventils allerdings **nicht zu realisieren**.

Ventile mit äußerem Druckausgleich werden aufgrund ihrer Eigenschaften in **Anlagen mit größeren Leistungen**, bei Einsatz von **Mehrfacheinspritzung** am Verdampfer, im **Tiefkühlbereich** und bei Anlagen mit **großen Druckverlusten am Verdampfer** (z.B. Plattenverdampfer) eingesetzt.

Einbauvorschriften für E.-Ventile und Fühlermontage

Ventilmontage

Grundsätzlich gelten zu **Montage** der Ventile die **Anweisungen der Hersteller**. Die Einbaulagen müssen gemäß den zulässigen Vorgaben gewählt werden. Der Thermokopf sollte bei Ventilen mit Gasfüllung nicht mit dem Kopf nach unten montiert werden.

Bei Lötventilen darf beim Einlöten die Ventilkörpertemperatur auf keinen Fall die maximal zulässige, angegebene Temperatur überschreiten. Das Ventil kann zerstört werden.

Ggf. muß zum Einlöten der Ventilkörper gekühlt werden (Achtung! bei nassen Tüchern besteht die Gefahr, das Feuchtigkeit in das System gelangt).

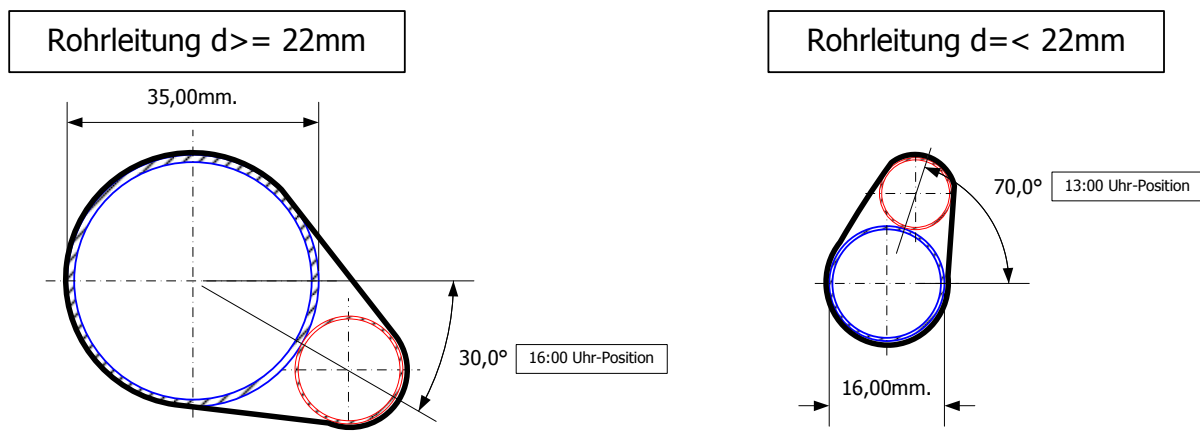
Beim Anziehen der Überwurfmutter unbedingt mit Schlüssel kontern (gegenhalten), um ein verdrehen der Rohrleitung zu verhindern und damit die Schraubverbindung mit der nötigen Festigkeit angezogen werden kann (ggf. Öltropfen **hinter** den Kupferbörtel geben!).

Beim Einsatz des Ventileinsatzes die Düse so spät wie möglich aus der Verpackung herausnehmen und sehr sorgfältig arbeiten.

Fühlermontage

Der Fühler muß mittels der mitgelieferten **Metall-Fühlerschelle** am Ende des Verdampfers mit gutem metallischen Kontakt (ggf. Wärmeleitpaste verwenden) absolut fest montiert werden (Farben oder ähnliches entfernen!). Dabei sollte der Fühler möglichst nah am Verdampfer am Saugrohr an der oberen Rohrfläche befestigt werden. Auf keinen Fall unterhalb der Saugleitung montieren (Ölfilm im Rohr- schlechte Wärmeübertragung!).

Bei Saugleitungen $d \geq 22\text{mm}$ sollte der Fühler seitlich in "**16:00 Uhr-Position**" angebracht werden, bei Leitungen $d \leq 22\text{mm}$ in "**13:00 Uhr-Position**". (siehe Skizze).



Um Fremdeinflüsse auf den Regelfühler zu vermeiden, ist der **Fühler zu isolieren**. Nur so ist sichergestellt, daß der Fühler nach Sauggasttemperatur regelt. Die **Montage des Fühlers an senkrechten oder nach oben führenden Leitungen ist zu vermeiden**. Die Montage an einem waagerechten Rohr mit Anstieg nach oben sollte ebenfalls vermieden werden. Um Temperaturübertragungen zum Fühler zu vermeiden, sollte der Fühler **nie in der Nähe von Rohrverbindungen, Umschaltventilen etc. und Rohrbögen** montiert werden.

Bei Ventilen mit **äußerem Druckausgleich** ist in Strömungsrichtung immer **zunächst der Fühler und danach der Druckanschluß** zu installieren (ca. 200mm Abstand einhalten).

An Anlagen mit mehreren Verdampfern ist der Fühler am Saugrohr des zugehörigen Verdampfers und daher nie an der gemeinsamen Saugsammelleitung anzubringen.

Expansionsventile mit MOP (druckbegrenzter Füllung)

MOP-Expansionsventile

MOP-Ventile werden überwiegend in **Tiefkühlanlagen** eingesetzt, da hier nach der Abtauphase (Aufheizung des Verdampfers) während der Anfahrphase hohe Verdampfungstemperaturen auftreten.

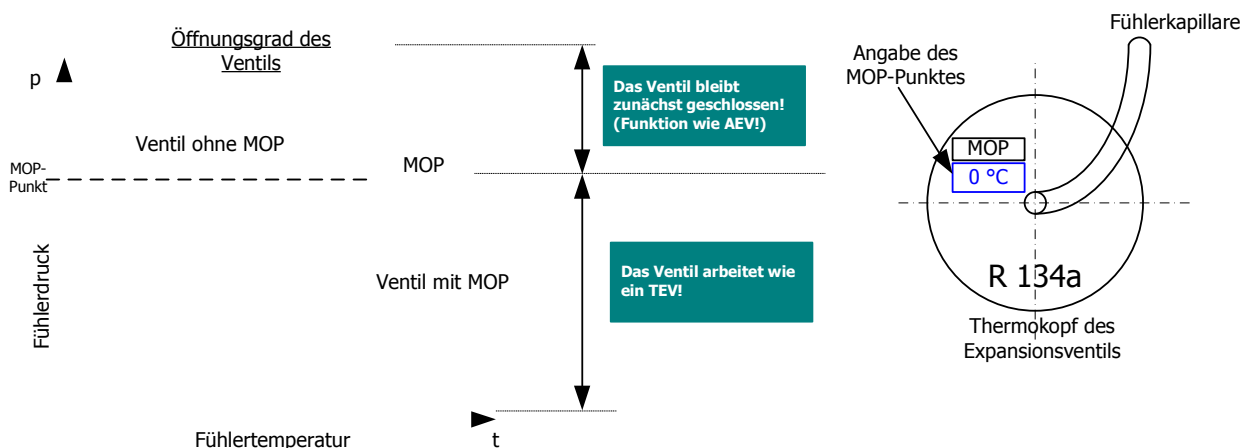
Hohe Verdampfungstemperaturen führen zu hoher benötigter **Antriebsleistung**. Es nimmt zwar auch die Kälteleistung zu, aber der Aufwand für die erhöhte Antriebsleistung sollte aufgrund wirtschaftlicher Überlegungen so klein wie möglich gehalten werden.

Dies führt speziell im Tiefkühlbereich zum Einsatz von Motoren mit geringer Antriebsleistung, da naturgemäß im TK-Bereich die Verdampfungstemperaturen sehr niedrig sind. Lediglich **nach den Abtauphasen** oder bei der ersten **Anfahrphase (Inbetriebnahme)** sind die Verdampfungstemperaturen durch die hohen Verdampfertemperaturen sehr hoch und es wird eine große Antriebsleistung benötigt. Genau hier setzen die MOP-Ventile an. Sie sollen durch eine Begrenzung des maximalen Saugdruckes den Verdichter vor Überlastung schützen. Dabei übernimmt das MOP-Ventil die Funktion eines Startreglers, der ebenfalls das vom Verdichter angesaugte Gasvolumen (Saugdruck) auf den vom Verdichterhersteller maximal als zulässig vorgegebenen Wert begrenzt.

Die Bezeichnung MOP bedeutet **M**aximum **O**perating **P**ressure (Maximaler Betriebs-(Arbeits)druck).

Die Angaben zum MOP-Punkt auf den Ventilen sind immer **Absolut-Druck-Werte**.

Im folgenden Bild ist die Begrenzung des Fühlerdruckes durch eine definierte Gas-Fühlerfüllung im Vergleich zum "normalen" gasgefüllten Ventil dargestellt. Hier kann man erkennen, daß bei Ventilen mit druckbegrenzter Füllung der Fühlerdruck oberhalb des Knickpunktes trotz steigender Fühlertemperatur nur unwesentlich zunimmt und die Schließdrücke aus Verdampfungsdruck P_e und der Federkraft P_{Fe} überwiegen. Das Ventil kann oberhalb des Begrenzungsdruckes nicht öffnen.



Der Saugdruck nimmt bei Ventilen ohne begrenzte Gasfüllung kontinuierlich ab. Bei druckbegrenzten Ventilen MOP sinkt der Druck zunächst bis zu dem festgelegten Druckbegrenzungswert.

In dieser Phase arbeitet es wie ein automatisches Expansionsventil.

Erst bei **Unterschreiten des Begrenzungsdruckes** arbeitet das Ventil **wie ein "normales" TEV (thermostatisches Expansionsventil)** als Überhitzungsregler.

Hinweis:

Während der Anfahrphase dürfen druckbegrenzte thermostatische Expansionsventile nicht aufreguliert werden, auch wenn der Verdampfer nicht genügend beaufschlagt wird und der Eindruck entsteht, die Überhitzung wäre zu groß eingestellt.

MSS-Linie (Minimal-Stabiles-Signal)

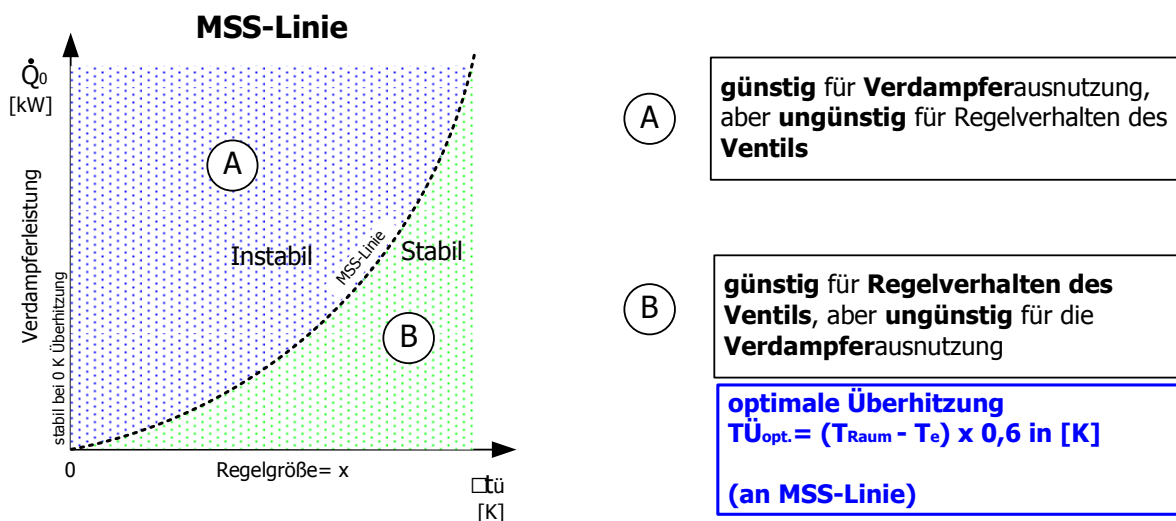
Thermostatische Expansionsventile (TEV) benötigen zur "sauberen" Regelung stabile Bedingungen.

Der **Verdampfer** muß dazu **stabile Überhitzungssignale** abgeben. Dies kann nur erreicht werden, wenn der Förderstrom des Verdichters, die Medientemperatur (Kühlgut) die Kondensationstemperatur etc. konstant sind. Sind diese Rahmenbedingungen gestört, verstärken sich diese Störsignale im Bezug auf das Regelverhalten des Expansionsventils und es beginnt zu "pendeln", um diese Regelabweichungen auszugleichen. Daraus kann man ableiten, das zur **Optimierung** einer Kälteanlage und dem stabilen Regelverhalten eines E.-Ventils unter anderem auch z.B. eine **stufenlose Drehzahlregelung** der Kondensatorlüfter und/oder des Verdichters eingesetzt werden sollten.

Eine **kleine Überhitzung** führt zu einer **optimalen Ausnutzung des Verdampfers**, da die Verdampferoberfläche optimal mit Naßdampf bzw. flüssigem Kältemittel beaufschlagt wird. Es wird keine Oberfläche zur Überhitzung im Verdampferpaket "vergeudet". Da aber zum einen der Verdichter vor Flüssigkeitsschlägen geschützt werden muß und eine zu kleine Überhitzung negative Auswirkungen auf das Regelverhalten des E.-Ventils hat, muß die Überhitzung auf die Betriebspunkte im Bezug auf die momentane Verdampferleistung abgestimmt sein. Dies gelingt mit einem TEV nur bedingt, da hier eine feste Überhitzungseinstellung vorgenommen wird und es z. B. auf Kühllastschwankungen nicht mit einer Anpassung der Überhitzung reagieren kann.

Elektronische Einspritzventile sind aufgrund der Erfassung der Raum-, Verdampferpaket- und Verdampferausgangstemperatur und des Verdampfungsdruckes (Transmitter) in der Lage, diese **Schiebung der Arbeitsüberhitzung** im Bezug auf die Beaufschlagung des Verdampferpaketes zu realisieren. Hält man in einer Kälteanlage konstante Bedingungen, so erreicht man bei genügend großer Überhitzung stets ein stabiles Überhitzungssignal. Sobald der Kältemittelmassenstrom vergrößert wird, führt dies zu einer kleineren Überhitzung (z.B. Düsenvergrößerung). Wird nun einer bestimmter Wert der Überhitzung bei sonst konstanten Bedingungen unterschritten, wird das gemessene Temperatursignal instabil. Dieser Grenzwert wird als Minimal-Stabiler-Betriebspunkt (**Minimal Stabiles Signal**) **MSS** bezeichnet. Er ist jedoch **abhängig** von der **Konstruktion des Verdampfers** und der jeweiligen Wärmelast über dem Verdampfer.

Beim Unterschreiten dieses minimal stabilen Signals werden die Überhitzungssignale instabil. Sinkt der Wert noch weiter ab, werden die Temperaturschwankungen geringer und verschwinden bei Überhitzungswert 0K völlig. Dies liegt daran, daß in dieser Phase Gas und Flüssigkeit auf Sättigungstemperatur liegen. Die aus den verschiedenen Wärmebelastungen resultierenden MSS-Punkte bilden wie im Bild dargestellt eine Kennlinie, die Verdampferspezifisch (konstruktionsbedingt und wärmlastabhängig) ausfällt.



Ein Unterschreiten der MSS-Kennlinie führt demnach zu Regelschwankungen durch ein instabiles Überhitzungssignal bis hin zu großen Flüssigkeitsanteilen im Sauggas. Ein Überschreiten der MSS-Linie führt zwar zu stabilen Überhitzungssignalen und stabiler Regelung, aber die Überhitzungstrecke wird zu groß und der Verdampfer nicht genügend beaufschlagt. Die optimale Überhitzung liegt also auf der MSS-Linie. Diese optimale Überhitzung ist von der momentanen Wärmelast auf der MSS-Linie abhängig.

Steuerfüllungen an Expansionsventilen

Die **Steuerfüllungen (Fühlerfüllungen)** an Expansionsventilen haben entscheidenden Einfluss auf den Überhitzungsverlauf in Abhängigkeit der Verdampfungstemperatur und auf das **Zeitverhalten** des Ventils. Das Zeitverhalten ist der zeitliche Verlauf (Verzögerung), mit der das Ausgangssignal (Änderung des Ventilhubes an der Düse, Massenstromänderung) des Ventils dem Eingangssignal (Regelabweichung, Änderung der Arbeitsüberhitzung) folgt. Dabei unterscheidet man flinkes oder träges Zeitverhalten. Wichtig ist hier, daß das Zeitverhalten des Ventils (Regler), dem Zeitverhalten des Verdampfers (Regelstrecke) dynamisch angepaßt sein muß (Kühllastschwankungen).

Aus diesem Grund sind unterschiedliche Füllungsarten für differenzierte Ventileinsätze notwendig.

Gasfüllung

Ventile mit Gasfüllung haben ein **sehr flinkes Zeitverhalten** und reagieren dementsprechend schnell auf Temperaturänderungen am Fühler. Aufgrund der Gasfüllung müssen nur geringe (Gas-)Massen in ihrer Temperatur geändert werden und der Fühlerdruck ändert sich rasch.

Das Medium ist in der Regel eine **Parallelfüllung** zum in der Anlage verwendeten Kältemittel. Je nach Fühlertemperatur kondensiert ein Teil des Gases im Fühler.

Aus diesem Grund ist es zwingend erforderlich, den **Fühler die kälteste Stelle** des Thermosystems des Ventils ist (ggf. Thermokopf und Kapillarrohr des Ventils isolieren).

Außerdem ist bei Einsatz solcher Ventile darauf zu achten, daß der Thermokopf durch zu hohe Überhitzung oder Einbau eines Wärmetauschers nicht unter die Fühlertemperatur abgekühlt wird. Eine einwandfreie Funktion des Ventils wäre nicht mehr gewährleistet.

Gas-Ballast-Füllung

Gas-Ballast gefüllte Ventile sind mit einem **Gas (Parallelfüllung)** und einem **chemisch neutralen Füllkörper** im Fühler ausgestattet. Durch diesen Ballastkörper wird die Reaktionsgeschwindigkeit und somit das Zeitverhalten dahingehend beeinflusst, daß bei **Temperatur*senkung* des Fühlers das Ventil schnell und bei Temperatur*erhöhung* langsam reagiert**. Dies bedeutet, ein sicheres und schnelles Schließen des Ventils im Stillstand und auf der anderen Seite ein relativ träges Öffnen des Ventils bei Kühllastschwankungen, nach Abtauungen und in der Startphase einer Anlage.

Flüssigfüllung

Thermostatische Expansionsventile mit Flüssigfüllung weisen ein **trägeres Zeitverhalten als Ventile mit Gasfüllung** auf. Es ist ein anlagenbezogenes Kältemittel/Gasgemisch mit abgestimmter Füllmenge an flüssigem Medium im Fühler vorhanden.

Der große Vorteil gegenüber der Gasfüllung ist die Tatsache, daß es **ohne Bedeutung** ist, der **Fühler**, das Kapillarrohr oder der Thermokopf wärmer oder kälter ist, da sich im Fühler stets Flüssigkeit befindet, die nicht restlos verdampft. Der Steuerdruck geht also immer vom Fühler aus.

Adsorptionsfüllung

Ventile mit Adsorptionsfüllung haben ein **relativ träges Zeitverhalten** (Reaktion auf Temperaturänderung am Fühler langsam). Je nach Anwendung bzw. Einsatzbereich der Anlage ist dies erwünscht, da das Ventil als "Dämpfer" wirkt (Regelabweichungen lösen nicht direkt ein Verstellen des Ventilhubes aus).

Die Füllung besteht aus einem **adsorbierbarem Gas** im Thermoteil und wird im Fühler durch ein **Adsorptionsmittel (poröse Masse)** teilweise adsorbiert (aufgenommen). Die adsorbierte Gasmenge ist abhängig von der Fühler- bzw. Adsorptionstemperatur (Speichermasse). Dadurch ändert sich auch der Druck im Thermoteil.

Auch hier ist **unerheblich**, ob der Thermokopf, das Kapillarrohr oder der **Fühler wärmer oder kälter** ist, da der Ventil-Steuerdruck stets von der Temperatur am Fühler bestimmt wird.

Als **Standardfüllungen** werden von den Herstellern **flüssiggefüllte Fühler** an den Expansionsventilen eingesetzt. Eine **Ausnahme** bilden die **MOP-Ventile**. Diese sind mit einer begrenzten, definierten Gasfüllung ausgestattet.

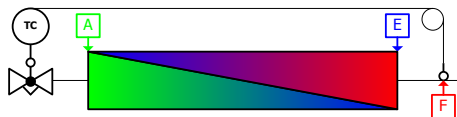
Wichtig ist für die Auswahl der Ventile noch der Temperaturbereich in dem diese zu Einsatz kommen (TK/NK).

Überhitzung

Thermostatische Expansionsventile sind Proportionalregler, d. h. die Regelgrößenänderung am Temperaturfühler bewirkt eine proportional sich ändernde Öffnung des Regelorgans (Ventilhub).

Das Kältemittel gelangt als Flüssigkeits-Dampfgemisch (Naßdampf) in den Verdampfer (A= Verdampferanfang) und soll am Verdampferende vollständig verdampft sein (Sattdampf) (E= Verdampferende).

Zwischen dem Verdampferende (E) und dem Montageort des Fühlers (F) wird der Kältemitteldampf (Sattdampf) überhitzt (über die Sättigungstemperatur hinaus). Diese Überhitzung mindert im Extremfall zwar die Verdampferleistung ist aber für ein stabiles Arbeiten des Ventils notwendig und zum Schutz des Verdichters vor Flüssigkeitsschlägen unerlässlich.



Durch den Druck der Regulierfeder (P_{Fe}) wird festgelegt, bei welcher Differenz zwischen Fühler- und Verdampfungstemperatur das Ventil gerade zu öffnen beginnt.

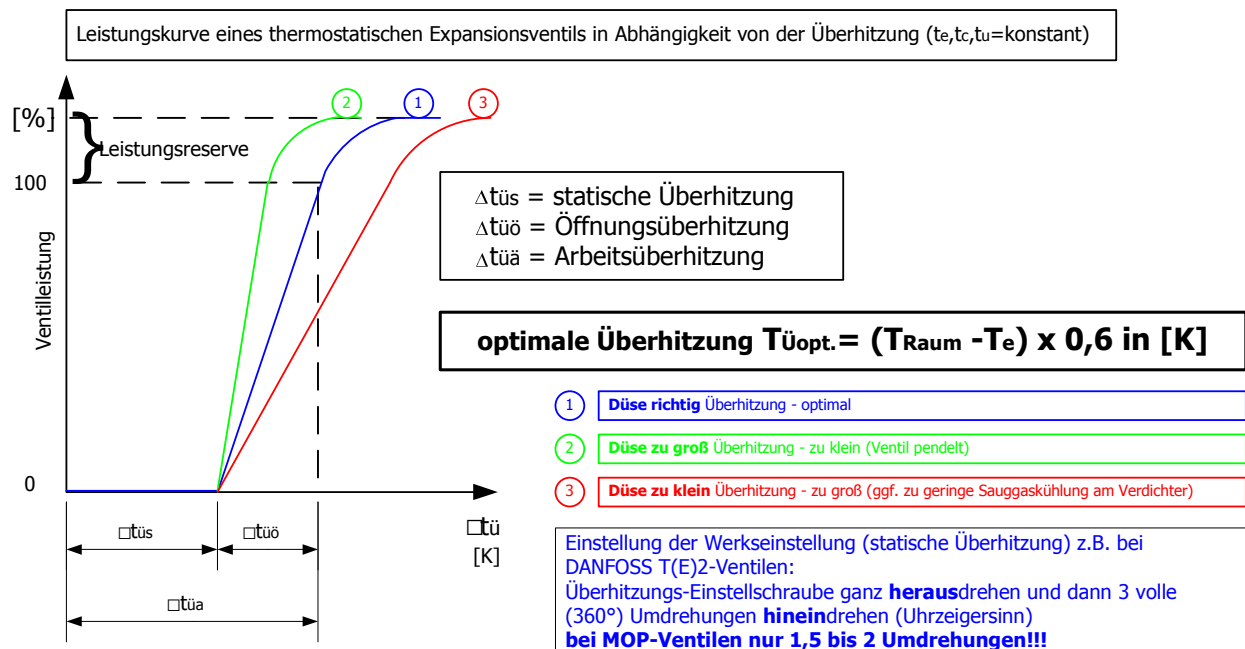
Dieser Wert wird als **statische Überhitzung** bezeichnet.

Zur Aussteuerung des Ventils vom Beginn des Öffnens bis auf seine Nennleistung, ist bei gleichbleibendem Saugdruck eine weitere Erhöhung des Fühlerdruckes, also eine zusätzliche Erwärmung (Überhitzung) zur Überwindung des anstehenden Federdruckes notwendig.

Dieser zusätzliche Wert der Überhitzung wird als **Öffnungsüberhitzung** bezeichnet.

Die **Summe** aus der statischen- und der Öffnungsüberhitzung ist die sogenannte **Arbeits- oder Gesamtüberhitzung**.

Die Zusammenhänge werden in der Skizze deutlich:



Rechenbeispiel: Arbeitsüberhitzung = Fühler Temperatur - Verdampfungstemperatur
 = $t_F - t_e$
 = $-5^\circ\text{C} - (-12^\circ\text{C})$
 = 7 K

Wenn das Ventil werkseitig auf 4K **statische Überhitzung** eingestellt ist, ergibt sich eine **Öffnungsüberhitzung** von $7\text{K} - 4\text{K} = 3\text{K}$

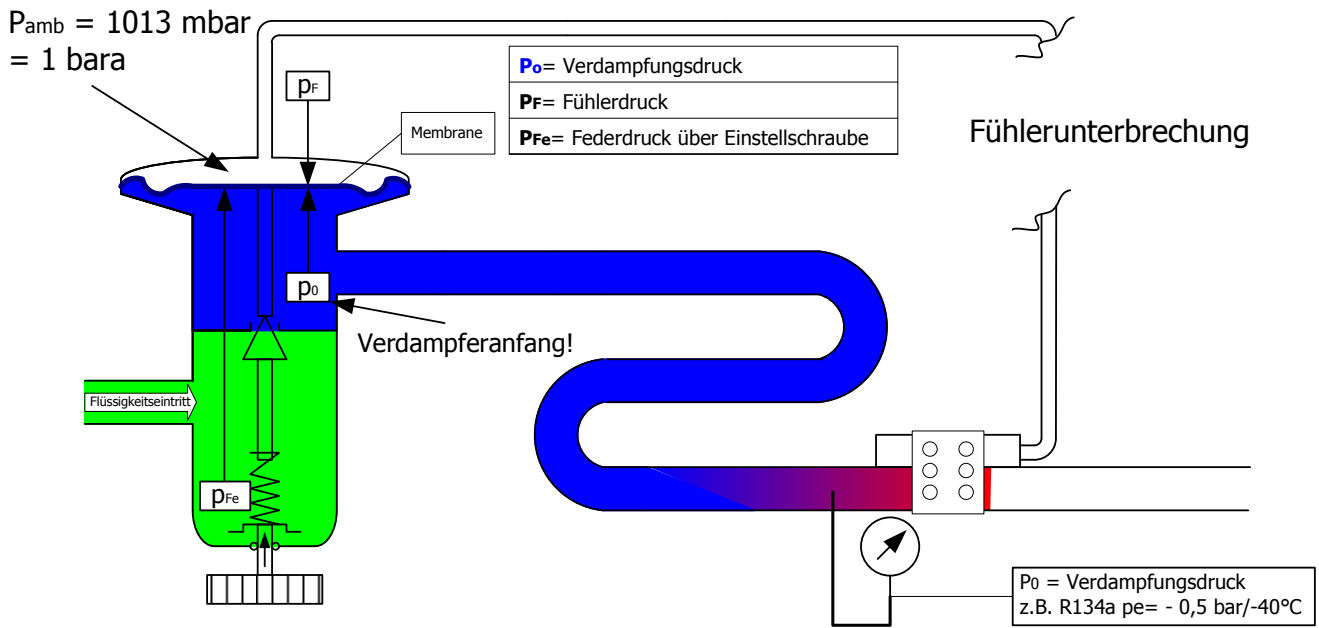
Die **Arbeitsüberhitzung** wird durch Messen der Differenz zwischen der Fühler Temperatur und dem Verdampferdruck am Verdampferende ermittelt.

Störungen und Fehler an TEV-Ventilen

Wie wirken sich folgende Fehler bzw. Störungen am thermostatischen Expansionsventil (TEV) aus:

1. TEV mit innerem Druckausgleich (i.D.) oder TEV mit äußerem Druckausgleich (ä.D.)
- Fühler abgerissen (Fühlerfüllung entwichen)
2. TEV mit äußerem Druckausgleich (ä.D.)
- Fühler abgerissen (Fühlerfüllung entwichen)
3. TEV mit äußerem Druckausgleich (ä.D.)
- Druckausgleich nicht angeschlossen oder Dichtkappe auf Anschluss für ä.D.
4. TEV mit äußerem Druckausgleich (Ä.D.)
- Druckausgleich nicht angeschlossen oder Dichtkappe auf Anschluss für ä.D. und Fühler abgerissen (Fühlerfüllung entwichen)
5. TEV mit innerem Druckausgleich (i.D.) oder TEV mit äußerem Druckausgleich (ä.D.)
- Fühler nicht am Rohr (Verdampferaustritt) befestigt oder keine Metallschelle verwendet
6. TEV mit äußerem Druckausgleich (ä.D.)
- Druckausgleichleitung zuerst am Verdampferaustritt und danach den Fühler montiert
7. TEV mit innerem Druckausgleich (i.D.) oder TEV mit äußerem Druckausgleich (ä.D.)
- Ventil für falsches Kältemittel eingesetzt (z.B. R134a Ventil in R404A Anlage)
8. TEV mit innerem Druckausgleich (i.D.) oder TEV mit äußerem Druckausgleich (ä.D.)
- Ventil mit falschem MOP-Punkt eingesetzt (z.B. MOP -20°C in Klimaanlage)
9. TEV mit innerem Druckausgleich (i.D.) oder TEV mit äußerem Druckausgleich (ä.D.)
- falsche Düsengröße eingesetzt (zu groß oder zu klein)

1. Thermostatisches Expansionsventil mit innerem Druckausgleich (TEV mit i. D.) Fühler abgerissen (Fühlerfüllung entwichen)

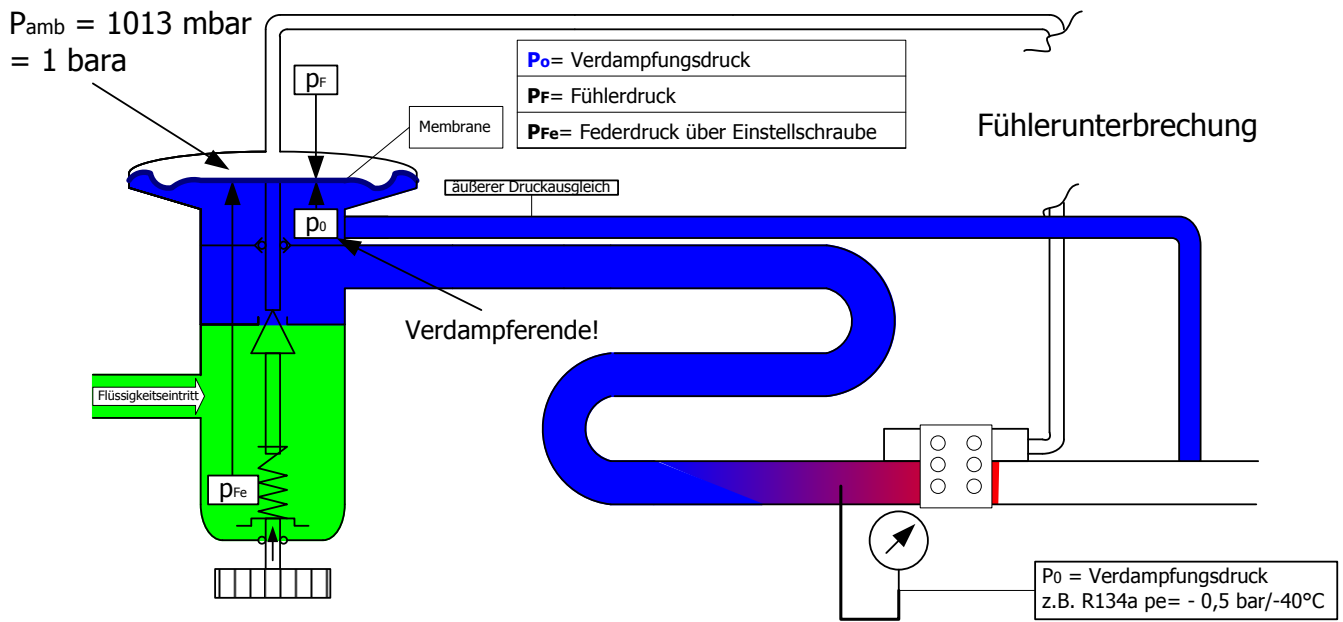


- $p_0 > p_{amb}$ >>>> Ventil schließt
- $p_0 < p_{amb}$ >>>> Ventil öffnet
- $p_0 = p_{amb}$ >>>> Ventil schließt, da $p_0 + p_{Fe} > p_F$

Beispiel **R134a**:

Das Ventil arbeitet bei ca. 0,5 bis 1 bara, dies entspricht etwa einer Verdampfungstemperatur zwischen -42° und -26°C

2. Thermostatisches Expansionsventil mit äußerem Druckausgleich (TEV mit ä. D.) Fühler abgerissen (Fühlerfüllung entwichen)

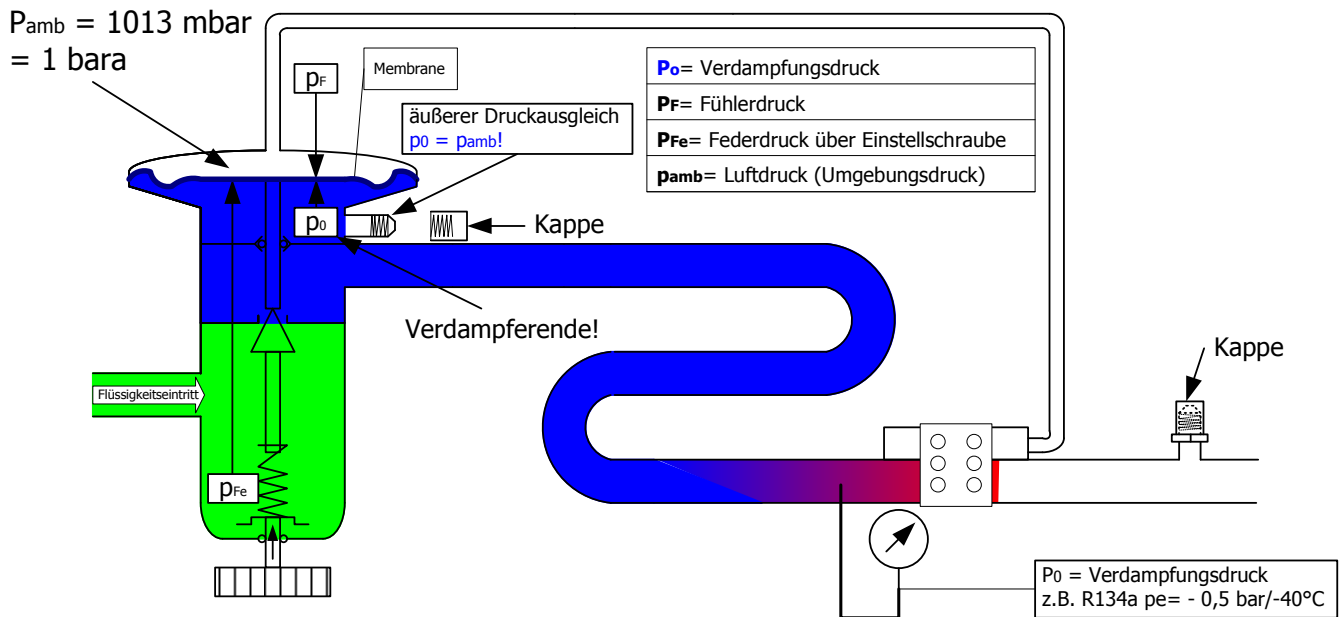


- $p_0 > p_{amb}$ >>>> Ventil schließt
- $p_0 < p_{amb}$ >>>> Ventil öffnet
- $p_0 = p_{amb}$ >>>> Ventil schließt, da $p_0 + p_{Fe} > p_F$

Beispiel **R134a**:

Das Ventil arbeitet bei ca. 0,5 bis 1 bara, dies entspricht etwa einer Verdampfungstemperatur zwischen -42° und -26°C

3./4. Thermostatisches Expansionsventil mit äußerem Druckausgleich (TEV mit ä. D.) Druckausgleich nicht angeschlossen oder Dichtkappe auf Anschluss für ä.D.



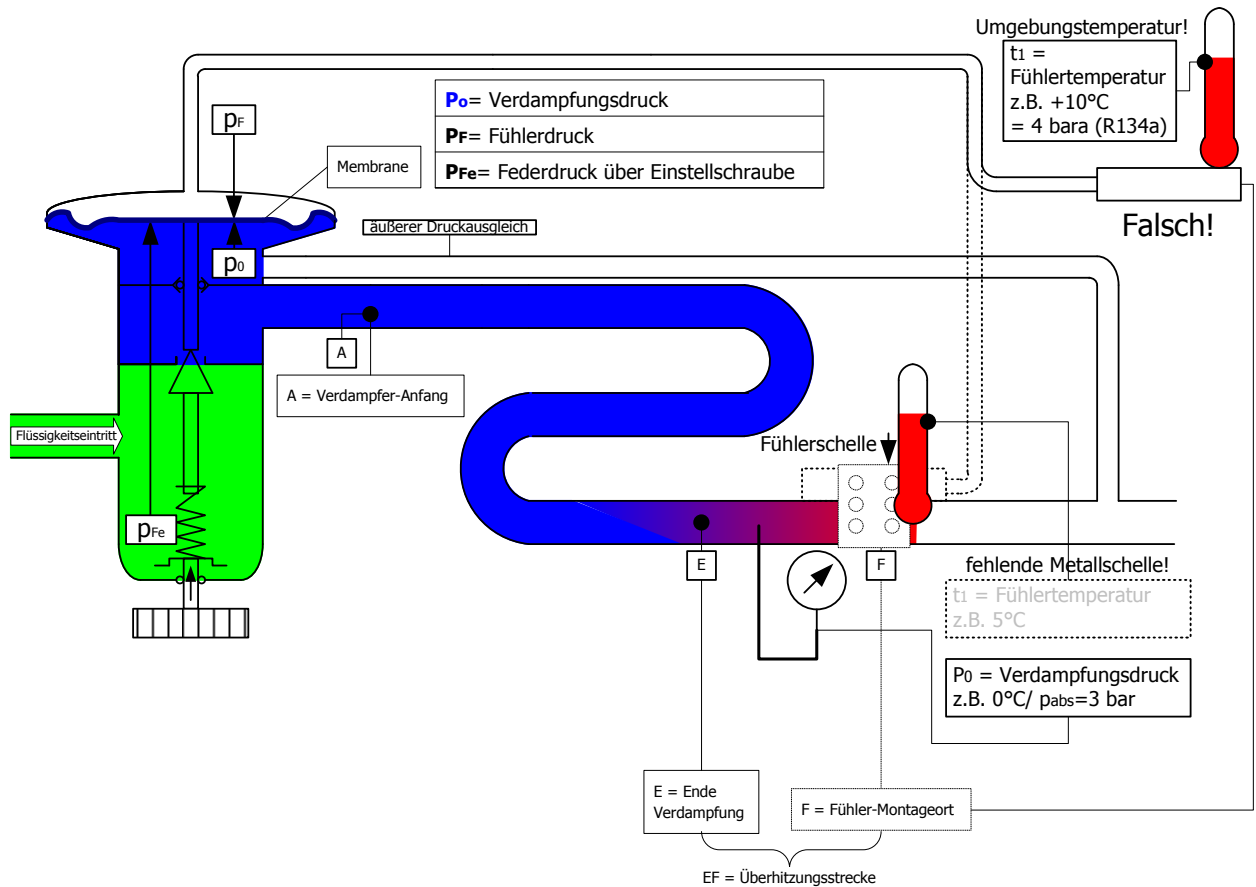
- $p_F > p_0/p_{amb}$ >>>> Ventil öffnet
- $p_F < p_0/p_{amb}$ >>>> Ventil schließt
- $p_F = p_0/p_{amb}$ >>>> Ventil schließt, da $p_0 + p_{Fe} > p_F$

Beispiel **R134a**:

Das Ventil arbeitet bei ca. 0,5 bis 1 bara, dies entspricht etwa einer Verdampfungstemperatur zwischen -42° und -26°C

Wenn der äußere Druckausgleich nicht angeschlossen oder mit einer Kappe verschlossen ist (Umgebungsdruck ist im Thermoelement eingeschlossen) und der Fühler defekt ist (Fühlerfüllung entwichen), schließt das Ventil, da $p_0 = p_F$ und die Kraft p_{Fe} als schließende Kraft wirkt!

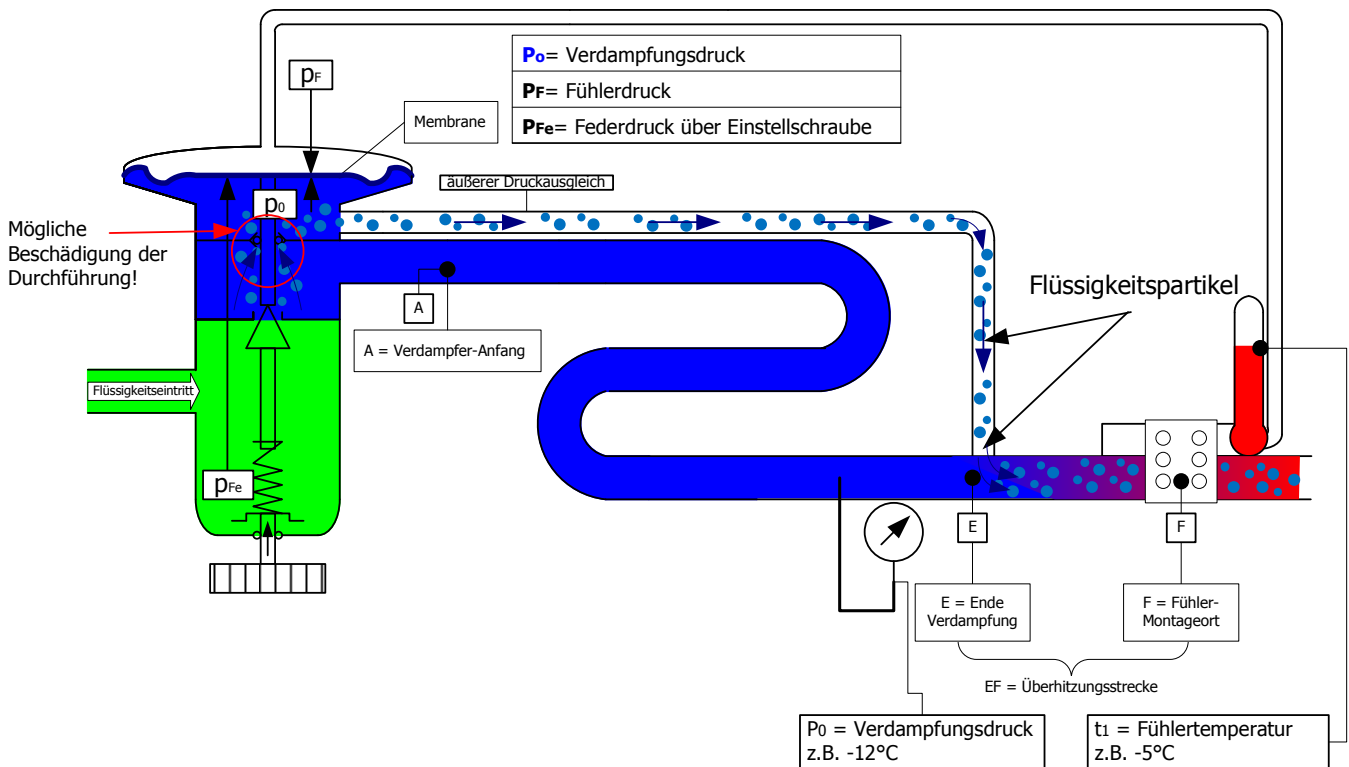
5. TEV mit innerem Druckausgleich (i.D.) oder TEV mit äußerem Druckausgleich (ä.D.)
 Fühler nicht am Rohr (Verdampferausritt) befestigt oder keine Metallschelle
 verwendet



Beispiel **R134a**:

Das Ventil arbeitet bei ca. 3 bis 4 bara, dies entspricht etwa einer Verdampfungstemperatur zwischen 0° und 10° . Das Ventil öffnet aufgrund der hohen Umgebungstemperatur sehr lange und es besteht die Gefahr, dass der Verdichter Flüssigkeitsschlägen ausgesetzt wird. Solange die Fühlertemperatur und der dazugehörige Druck (p_F) über der Verdampfungstemperatur p_o liegt, bleibt das Ventil geöffnet. Erst wenn die Verdampfungstemperatur auf min. dem gleichen Druckniveau angelangt ist wie der Fühlerdruck, schließt das Ventil über die Federkraft p_{Fe} .

6. Thermostatisches Expansionsventil mit äußerem Druckausgleich (TEV mit ä. D.)
Druckausgleich zuerst am Verdampferaustritt und danach den Fühler montiert.



Beispiel **R134a**:

Das Ventil arbeitet solange normal, bis ein Defekt an der Trennstelle im Thermoelement am äußeren Druckausgleich auftritt.

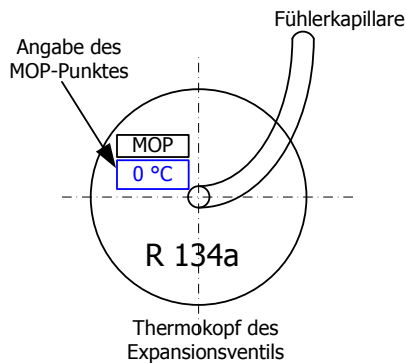
Kritisch wird es, wenn durch die Ausgleichsleitung flüssiges Kältemittel über die undichte Trennstelle im Thermoelement und der Ausgleichsleitung in die Saugleitung gelangt. Hier könnten die Flüssigkeitsteilchen, unter Umständen bis in den Verdichter gelangen und dort Schäden verursachen (insbesondere im Stillstand der Anlage kann flüssiges Kältemittel überströmen). Es kann auch das Regelverhalten durch einen „Kurzschluß“ im Thermokopf gestört werden und es kann es zu einer Blockierung der Membranbewegung durch Flüssigkeitseinschluss im Thermoelement kommen. Dies gilt für beide Anordnungsvarianten.

Der Vorteil bei der oben dargestellten Anordnung ist, dass durch die verdampfenden Flüssigkeitsteilchen der Fühler des TEV abgekühlt wird und das Ventil schließt. Es kann über die Ventildüse kein zusätzliches Kältemittel in den Thermokopf des TEV gelangen.

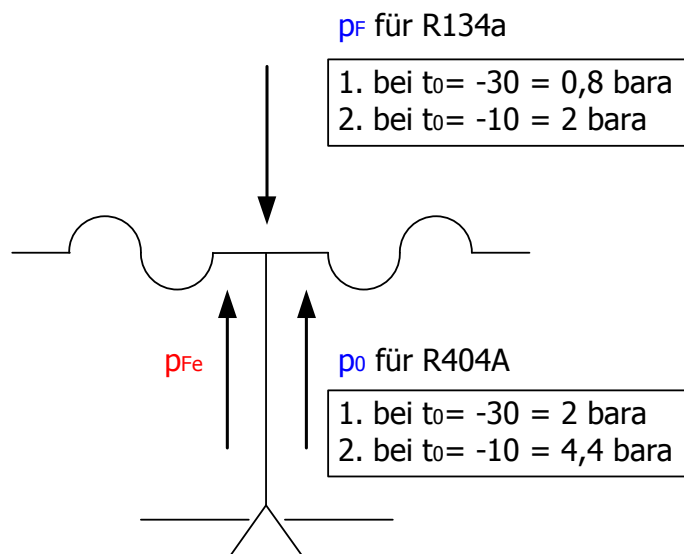
Bei umgekehrter Anordnung (klassische Einbauvariante) ist das Risiko von Flüssigkeitsschlägen sogar größer, weil der Fühler des TEV nicht durch verdampfendes Kältemittel über die Ausgleichsleitung abgekühlt und das Ventil geschlossen wird. Somit ist bei Ventilen mit äußerem Druckausgleich die oben dargestellte Anordnung sogar die bessere Variante!

Eine **grundsätzliche Anordnung** des Überhitzungsfühler und des Anschlusses des äußeren Druckausgleiches **gibt es nicht**. Es ist lediglich sicherzustellen, dass sich der **Temperatur- und Druckmesspunkt möglichst an der selben Stelle** befinden. Nur dann ist sichergestellt, dass die Differenz aus Sättigungsdruck bzw. der dazugehörigen Sättigungstemperatur des Dampfes und der gemessenen Gastemperatur die tatsächliche Überhitzung zur Ventilsteuerung ergibt.

7. **Thermostatisches Expansionsventil mit innerem oder äußerem Druckausgleich (TEV mit i.D. oder ä. D.) Ventil für falsches Kältemittel eingesetzt (z.B. R134a Ventil in R404A Anlage)**



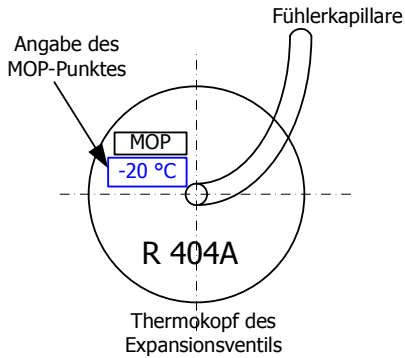
TK-Raum mit R404A als Kältemittel!



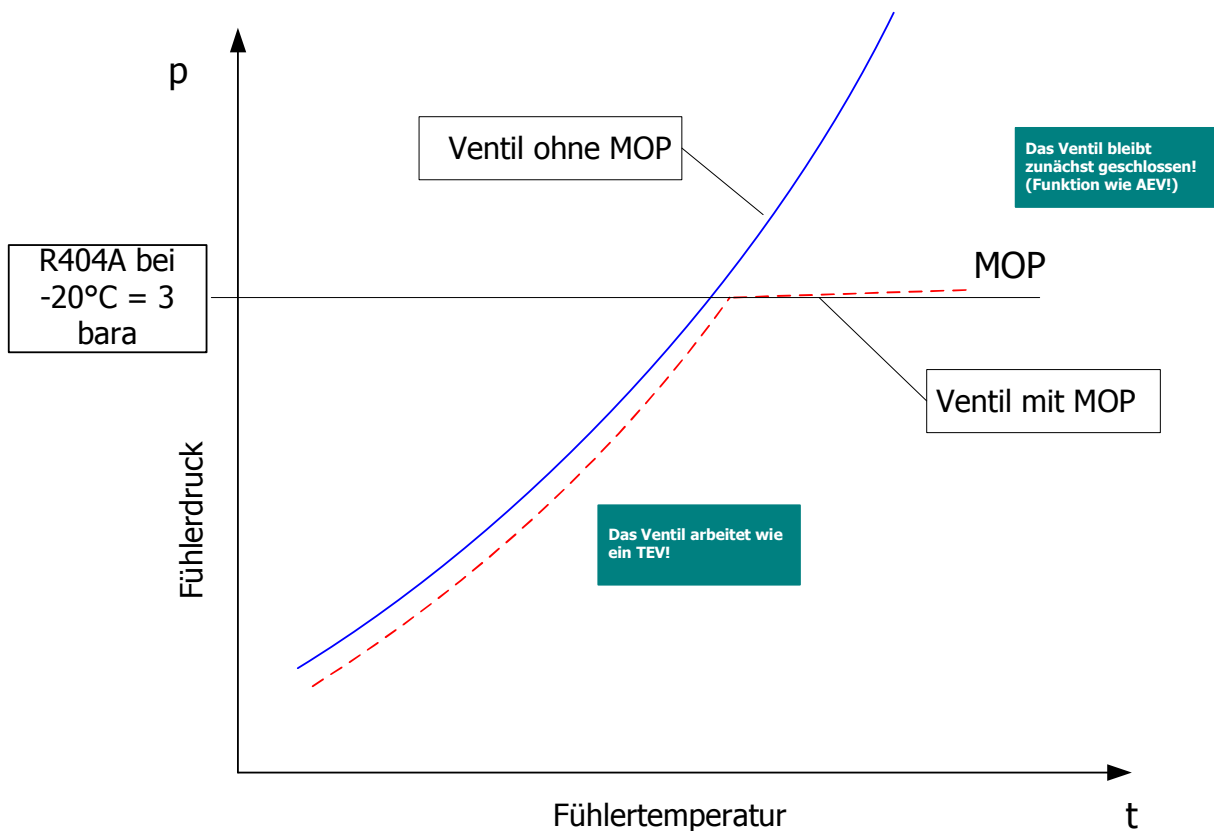
Beispiel R134a-Ventil in R404A Anlage:

Das Ventil schließt, da der Druck unterhalb der Membrane (p_0) größer ist als der Fühlerdruck p_F . Dies liegt an den unterschiedlichen Drucklagen der Kältemittel bei entsprechender Temperatur. R134a hat bei gleicher Temperatur wesentlich geringere zugehörige Drücke als R404A. Dadurch ist bei einer Tiefkühlanwendung mit R404A und einem fälschlicherweise eingesetzten Ventil für R134a die Folge, dass kein Kältemittel in den Verdampfer eingespritzt wird und die Anlage über den Niederdruckwächter abgeschaltet wird.

8. Thermostatisches Expansionsventil mit innerem oder äußerem Druckausgleich (TEV mit i.D. oder ä. D.)
Ventil mit falschem MOP-Punkt eingesetzt (z.B. MOP -20°C in Klimaanlage)



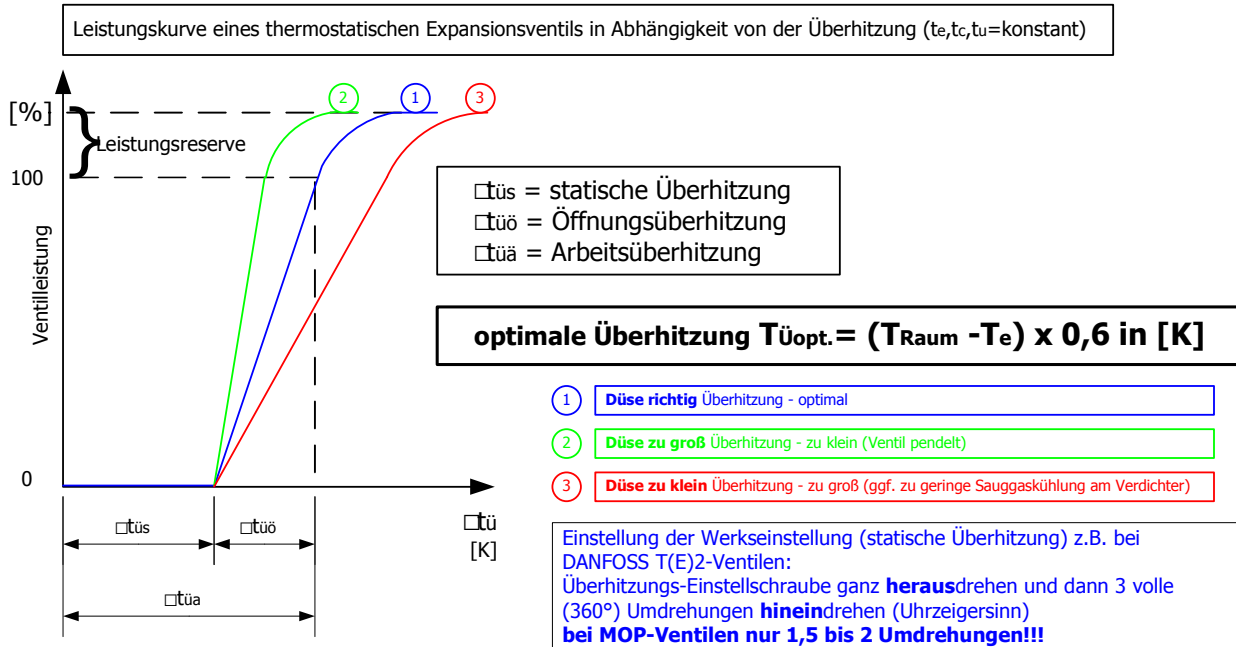
MOP -20°C Ventil in Klimaanlage!



Beispiel **R404A mit MOP -20°C in Klimaanlage:**

Das Ventil schließt, da der Druck erst unter den MOP-Punkt sinken muß, bevor das TEV mit MOP beginnt zu öffnen. Erst nach unterschreiten des MOP-Punktes reagiert das Ventil wie ein „normales TEV. Bis dahin bleibt das Ventil geschlossen und die Verdampfungstemperatur sinkt soweit ab, dass der Niederdruckwächter im Normalfall bereits abschaltet, bevor die Anlage auf Temperatur gekommen ist. Die Anlage kann keine Leistung bringen, da kein Kältemittel eingespritzt wird.

9. Thermostatisches Expansionsventil mit innerem oder äußerem Druckausgleich (TEV mit i.D. oder ä. D.) falsche Düsengröße eingesetzt (zu groß oder zu klein)



Düse zu groß:

Wenn eine Düse gewählt wird, die für die Anlagenleistung zu groß ist, wird die Öffnungsüberhitzung zu klein bzw. der Verlauf der Leistungskurve bezogen auf die Überhitzung am TEV-Fühler extrem steil zunimmt (ansteigt). Dadurch wird auf einen Schlag sehr viel Kältemittel in den Verdampfer eingespritzt und der Fühler sehr schnell abgekühlt. Die Folgen sind eine „pendelndes“ Ventil („Hunting“) und es besteht bei kurzer Saugleitung die Gefahr von Flüssigkeitsschlägen am Verdichter. (siehe Diagramm)

Düse zu klein:

Wenn eine zu kleine Düse gewählt wird, wird trotz voll geöffneten Ventils eine zu geringe Kältemittelmenge in den Verdampfer eingespritzt. Die Folge ist eine zu große Überhitzung und eine schlechte Nutzung der Verdampferfläche. Außerdem kann der Verdichter aufgrund fehlender Sauggaskühlung Schaden nehmen. (siehe Diagramm)